

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2000049374 A

(43) Date of publication of application: 18.02.00

(51) Int. Cl

H01L 33/00

(21) Application number: 10212381

(71) Applicant: SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22) Date of filing: 28.07.98

(72) Inventor: MOTOKI KENSAKU
MATSUBARA HIDEKI

(54) WHITE LED

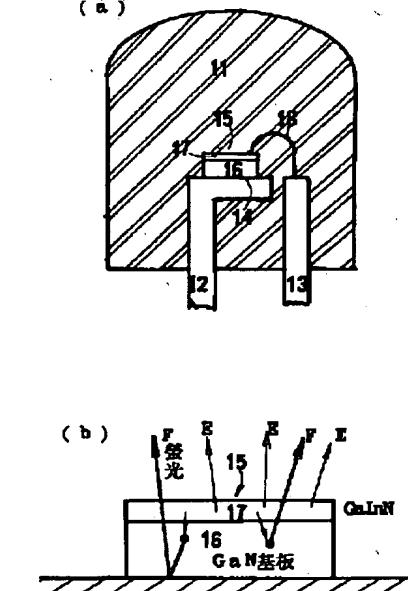
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To effectively use a GaN substrate itself as a fluorescence emitting body without excessively requiring different phosphors by a method, wherein blue and bluegreen light from a light emitting structure and yellow and orange light from the center of fluorescence of the GaN substrate are composed so as to obtain white light.

SOLUTION: A GaN substrate 16 which becomes the light emitting center of fluorescence and which comprises impurities and a crystal defect and a light emitting structure 17, which is epitaxially grown on it is be composed of an LED 15. The light emitting structure 17 is a GaInN thin film and contains a p-n junction. When a current is made to flow to the p-n junction, a band gap is shifted, and light E at 400 to 500 nm is emitted. A part of the light advances to the lower side to enter the substrate 16. An oxygen, carbon or nitrogen voids to the like exists in the GaN substrate 16, and blue color is absorbed with fluorescence at 520 to 650 nm being emitted. Fluorescence emission F in the substrate 16 is reflected by the bottom face, or it

goes over the thin film 17 directly so as to go over to the outside. Light in which the LED light E is mixed with the fluorescence emission F goes to the outside, and the this is seen as white light (W=E+F).

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-49374

(P2000-49374A)

(43)公開日 平成12年2月18日 (2000.2.18)

(51)Int.Cl.⁷

H 0 1 L 33/00

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

テーマコード(参考)

C 5 F 0 4 1

審査請求 未請求 請求項の数7 OL (全12頁)

(21)出願番号 特願平10-212381

(22)出願日 平成10年7月28日 (1998.7.28)

(71)出願人 000002130

住友電気工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72)発明者 元木 健作

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号住友電
気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 松原 秀樹

大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号住
友電気工業株式会社大阪製作所内

(74)代理人 100079887

弁理士 川瀬 茂樹

Fターム(参考) 5F041 AA11 AA12 AA14 CA13 CA34
CA40 CA48 CA54 CA55 CA57
DA04 DA18 DA26 EE23

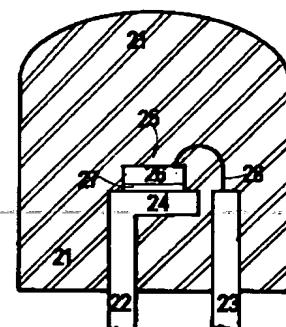
(54)【発明の名称】白色LED

(57)【要約】

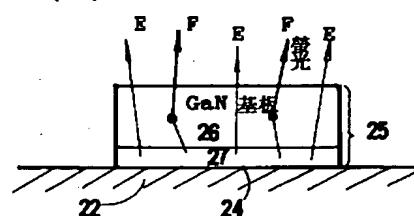
【目的】構造が単純で低コストで製造でき長寿命高輝度の白色LEDを提供する事。

【構成】酸素、炭素をドープし或いは窒素空孔を有するGaN単結晶基板に、GaN系混晶のエピタキシャル薄膜を積層して活性層とpn接合を作製し、活性層からの青色・青緑色の光と、青色・青緑色光によって励起されたGaN基板の蛍光発光中心からの黄色の蛍光を合成して白色光を得る。

(a) 実施例2



(b)



【特許請求の範囲】

【請求項1】 萤光中心として酸素原子、炭素原子または窒素空孔を含むn型又はp型GaN単結晶基板と、GaN単結晶基板の上にpn接合を含むようにエピタキシャル成長によって設けられたGaNを主体とする混晶化合物の青色青緑色の発光構造と、GaN基板の底面に設けたn電極又はp電極と、発光構造の上層に設けたp電極またはn電極と、GaN基板或いは発光構造を支持する支持機構と、電流を電極に流すためにリードと、GaN基板、発光構造、支持機構を囲むパッケージとよりなり、該発光構造からの青色又は青緑色の光によってGaN基板の螢光中心を励起して黄色又は橙色を発光させ、発光構造からの青色青緑色とGaN基板螢光中心からの黄色橙色の両方の光を合成することによって白色光を得るようにしたことを特徴とする白色LED。

【請求項2】 発光構造が、 $G_{1-x}In_xN$ を含む多層構造からなり、発光構造から放出される光の波長が450nm～510nmの範囲にあり、かつGaN基板からの螢光発光の波長が520nm～650nmであることを特徴とする請求項1に記載の白色LED。

【請求項3】 GaN基板の厚みを、5.0μm～2mmの範囲で調整する事により、また発光構造からの発光波長を変化させる事により、得られる白色光の色調を寒色系から暖色系まで変化させることができるようにしたことを特徴とする請求項2に記載の白色LED。

【請求項4】 支持機構が頂部にシステムをもつΓ型のリードであって、基板側がシステムと反対側にあり発光構造をもつ面がシステム面に固定されていることを特徴とする請求項3に記載の白色LED。

【請求項5】 支持機構が頂部に凹部を含むシステムを持つΓ型のリードであって、基板側がシステムと反対側にあり発光構造をもつ面がシステムの凹部に固定されて、凹部の上端には反射板があり発光構造からの青色青緑光の一部を反射しGaN基板に照射するようにしたことを特徴とする請求項3に記載の白色LED。

【請求項6】 GaN基板に凹部があつて凹部の底に $G_{1-x}In_xN$ 発光構造が形成され、発光構造がGaN基板によって包囲されるようにし、基板側がシステムと反対側にあり発光構造の面がシステムに接触するよう固定されているようにしたことを特徴とする請求項3に記載の白色LED。

【請求項7】 発光構造側の電極は、基板の全面積の80%～100%の面積を被覆し、GaN基板側の電極は、基板面積の40%以下の面積を被覆していることを特徴とする請求項4、5または6に記載の白色LED。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、单一装置で白色光を発する事のできる新規な半導体発光素子に関する。白色光への需要は多い。照明用光源として白色光が最も適

する。液晶のパックライトは白色光が使われる。本発明は、照明用、表示用、液晶パックライトなどに利用できる半導体白色LEDに関する。

【0002】

【従来の技術】 発光ダイオード(LED)は赤色、黄色、緑色、青色などの単色のものが既に製造販売されている。赤色の高輝度発光ダイオード(LED)としては数Cd(カンデラ)以上のものが既に市販されている。AlGaAsや、GaAsPなどを発光層とした赤色LEDである。低価格のLEDであり広い用途に利用されている。GaPを発光層とする緑・黄緑色のLEDも製造販売されている。青色LEDとしては、SiCを活性層とするものがある。青・緑はGaNを活性層とするLEDがある。橙色・黄色はAlGaNPを発光層とする素子がある。いずれも安価で実用的なLEDである。このうちGaP、SiCは間接遷移型の半導体であるから効率が悪く、カンデラ級の出力には至っていない。

【0003】 これらLEDはいずれも発光層材料のバンド間の電子遷移を利用しているから単色光しか出ない。

だからLEDといえば単色であった。これは当然のことである。単色のLEDには表示用LEDなど沢山の用途がある。しかし単色LEDだけでは全ての光源に取って代わることはできない。照明などの用途、特別の表示などの用途、液晶パックライトなどの用途には単色光源では役に立たない。照明に単色光を使うと物体がみなその色に見える。液晶パックライトに単色光を使うとその色の濃淡画像しか見えない。

【0004】 どうしても全ての色を含む白色の光源が必要である。ところが白色の出る半導体発光素子はない。照明用光源としてはいまなお白熱電球、蛍光灯などが広く使われている。白熱電球は効率が悪い。また寿命が短い。蛍光灯は効率はともかく、やはり寿命が短い。安定器のような重量物が必要である。またサイズも大きすぎる。このような難点がある。

【0005】 尺寸が小さいこと、周辺回路が簡単であること、寿命が長いこと、発光効率が良いこと、安価であることなどが白色光源に対して望まれるところである。これらの要件を満足するにはやはり半導体発光素子しかないようと思われる。しかし先述のように半導体発光素子はバンドギャップ間の電子遷移を用いるからどうしても単色光しかでない。半導体素子は単独では白色光を発生することができない。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 三原色である青色、緑色、赤色のLEDを使えば白色LEDを作ることができよう。GaNを用いた青色LEDも市販されるようになり三原色のLEDはそろっている。しかし3つもの発光素子を組合わせるのでは高コストになってしまふ。製品コストだけでなく電力も3倍必要であり効率がよい

とは言えない。3原色の間でのバランスを調整する必要もある。回路も複雑にならざるを得ない。サイズの点でも不利である。このように複数のLEDを組み合わせて白色光を作るのでは余り利益がない。やはり単一のLEDで白色を出したいものである。

【0007】サファイアを基板としGaNを活性層とするLEDをGaN系LEDまたは簡単にGaN系LEDと言う。GaN系のLEDとYAG系蛍光体を組み合わせた白色LEDの試みが提案されている。例えば次の文献に紹介されている白色半導体発光素子がある。①「光機能材料マニュアル」光機能材料マニュアル編集幹事会編、オプトロニクス社刊、p.457、1997年6月

【0008】この素子はGaNを活性層とするGaN系LEDチップを黄色の発光をするYAG蛍光材に埋め込んだ構造をしている。図1にこれをしめす。樹脂の透明モールド1の中に、第1リード2、第2リード3が固定されている。第1リード2は上部がT型になっており窪み4が形成される。窪み4にGaN活性層をもつGaN系LEDチップ5が固定される。LED5をすっぽりと覆うように黄色のYAG蛍光体6が窪み4に充填されている。GaN系LEDの上面にはアノード電極とカソード電極があり、これらがワイヤ7、8によってリード2、3に接続される。

【0009】通常の発光素子や受光素子は導電性基板を使うのでチップ底面が電極になりリードに直付けする。だからワイヤはもう一方の上面電極とリードを結ぶ1本で済む。しかしGaN系の青色LEDはサファイア基板の上にGaNや、GaN層を積層する。サファイアは絶縁体なので底面をカソードとすることができない。そこでチップの上面にn電極(カソード)とp電極(アノード)を並べて作る。だからワイヤは2本必要になる。アノードからカソードに電流を流すとGaN系LEDが青色を出す。青色の一部はそのままYAG蛍光体を透過して外部に出射される。残りは蛍光体6に吸収されより波長の長い黄色を出す。青色と黄色の光が重なって出る。合成された光は白色である。つまりこれは、GaN系LEDの青色と、これによって励起された蛍光とを重ね合わせて白色を出しているのである。

【0010】LEDの発光は電子のバンド間遷移による積極的な発光である。蛍光体はその光を吸収し、内部の電子が基底バンドから上のバンドへ励起されその電子が発光中心と呼ばれる準位を介して基底バンドに落ちるときに光を発する。当然この励起発光ではLEDの光よりエネルギーが低い光が出る。適当な蛍光体でLEDを囲むと、LEDの固有の光とそれより長い波長の蛍光が出るようになる。YAG蛍光体は丁度黄色の光を出すから、LEDの青色と合成され白色になるという。可視光の中で青は波長が短くエネルギーが高い。青色発光素子が存在するからこのような事が可能になる。

【0011】図2に、GaN/YAG発光素子の発光スペクトルを示す。横軸は波長、縦軸は光強度(任意目盛り)である。460nmの鋭いピークがGaN系LEDの光によるものである。550nmあたりの幅広い山はYAG蛍光体による蛍光である。肉眼は色を分離して観察できないから白色発光のように見える。

【0012】しかしGaN/YAG発光素子にはいくつかの難点がある。GaN系LEDとは全く異質の物質であるYAG蛍光体を余分に必要とする。これが10第1の難点である。透明度の悪いYAG蛍光体をチップの上に充たすからLEDからの光の多くが吸収される。これに使われる青色GaN系LEDだけだと、輝度1Cd以上、外部量子効率が5%以上という優れた特性である。ところがGaN/YAGは輝度が0.5Cd、外部量子効率が3.5%程度しかない。輝度が落ちるのはYAG蛍光体が光を吸収するからである。またYAG蛍光体の光変換効率が10%程度で低い。ために黄色が優勢な暖色系の白色にするためには蛍光材層をより厚くしなければならない。するとさらに吸収が増えて輝度、効率ともに下がる。これが第2の難点である。第3の難点は、複雑な製造工程を要するということである。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は、蛍光中心を含むGaN基板とGaN系の青色発光素子とを組み合わせただけの簡単な構造の白色LEDを提案する。蛍光中心を有するn型GaN基板の上にp型GaN薄膜を成長させると400nm~500nmで発光する青色LEDになる。本発明はこの構造を巧みに利用して白色のLEDを作製する。GaN基板とこれに格子整合するGaN系LEDを組み合わせただけのもので極めて単純な構造である。蛍光体は不要で、GaN基板が蛍光体を兼ねる。GaNはGaNの上にエピタキシャル成長させることができ同系統の素材を発光体と蛍光体としている。本来青色発光ダイオードであるものを少しの工夫によって白色LEDにしたものである。GaN系青色発光素子には必ず半導体結晶基板が必要である。基板に蛍光中心をドープして蛍光を起こさせるようにしただけである。もともと必要な基板を蛍光体の代わりに利用する。甚だ巧みな着想である。

【0014】大型で欠陥の少ないGaN基板は従来作製できないものとされていた。GaN自体は高温高圧でも容易に融液にならずチョコラルスキー法、ブリッジマン法などが使えない。それで従来はGaN/NLEDはサファイア基板に形成された。GaN基板が存在しないと本発明は実施できない。近年、融液成長法や気相成長法によってGaN基板を作製できるようになってきた。これが本発明を可能にした。融液成長法は、GaN融液にGaNを溶かし圧力と熱を掛けてGaN-GaNの融液としGaNの単結晶を成長させる方法である。小型の結晶を

作ることができる。

【0015】気相成長法は、(111) GaAs基板の上にドット状の孔や直線状の孔を多数有するマスクを設け、マスクを通してGaNを低温で気相成長させてバッファ層を作り、さらにその上に高温でエピタキシャル層を厚く成長させ、GaAs基板を除去してGaNの大型単結晶基板を作るものである。つまり薄膜の成長法を使って基板を成長させたのである。原料ガスの与え方によってHVPE(ハライド気相成長法)法、MOC(有機金属塩化物気相成長法)法、MOCVD(有機金属CVD法)法などがある。HVPEホットウォール型の炉に、GaN金属融液を入れておき水素、HClガスを吹き付けGaNを作り基板近くでアンモニアと反応させGaNを合成する。MOCは、TMGなどの有機金属を、H₂+HClガスとホットウォール型炉で反応させGaNを合成し、これとアンモニアNH₃を反応させてGaNを作る。MOCVDはコールドウォール反応炉において、TMGなど有機金属をH₂によって輸送し、アンモニアと反応させGaNを作る。これらのGaN基板の製造方法はこれらは本出願人の先願である特願平10-171276号に説明している。大型のGaN基板を製造できるようになったのは極めて最近のことである。本発明はそのようなGaN基板を出発原料として白色LEDを作製する。

【0016】GaN基板を気相成長法や融液成長法によって成長させると、酸素や、炭素等の不純物(ドーパント)をドープしたり、結晶欠陥(窒素空孔)を導入することができる。酸素、炭素などの不純物、或いは窒素空孔などの結晶欠陥は蛍光を発生する中心となる。480nmより短い波長の光を当てると、520nm~650nmの広い範囲の蛍光を発生する。この発光中心のことを蛍光発光中心或いは単に蛍光中心と呼ぶことができる。蛍光発光の中心波長、発光スペクトルの半値幅は、ドーパント(酸素、炭素)の種類、ドーピング量、或いは結晶欠陥(窒素空孔)の量によって調整することができる。蛍光が黄色から赤に(520nm~650nm)広く分布するからこれとGaNNLEDの青色を加えたものが出る。肉眼ではこれを合成するから白色光に見える。白色光=GaNの青色+GaNの蛍光というように二つの光から白色光が合成される。

【0017】つまり本発明の素子は二つの部分からなり、

(1) GaIN系LED…バンド間遷移による青色発光(400~500nm)

(2) GaN基板…黄色~赤色の蛍光(蛍光: 520~650nm)

を組み合わせたものである。GaN基板はn型でもp型でも良い。いずれにおいてもエピタキシャル成長層の中にp-n接合を作る。エピタキシャル成長層が発光構造となる。基板が蛍光体になる。

10

20

30

40

50

【0018】この素子の優れた点はその単純さにある。およそ発光素子は活性層をなんらかの基板の上に形成するものであって、基板は必ず存在する。通常の素子では基板は単に活性層を保持し、電流を流すだけのものであって消極的なものである。しかし本発明では基板 자체を蛍光の発光層として巧妙に利用する。であるから本発明の白色LEDは、GaN青色LEDにおいてGaN基板に蛍光発光中心を生ぜしめる不純物(ドーパント)や格子欠陥を添加しただけであり工程が一つ増えるだけである。別異の材料を附加するのではない。

【0019】白色といつても様々なものがある。青色が優勢であると寒色の白になるし、赤色が優勢であると暖色に傾く。GaN基板が厚いとGaNNLEDの青色が吸収されて減少し蛍光発光の黄色が勝ってくる。GaN基板が薄いとGaNNLEDの青が優越し、蛍光発光が弱くなる。GaN基板の厚みを変化させることによって、蛍光発光の強度を調整することができる。つまり基板厚みによりLEDからの青色発光に対し蛍光発光の比率を変える事ができる。しかし基板厚みには他の条件から制限が課される。50μm以下とすると後工程において破損の割合が増える。歩留まりも下がりコスト高になる。反対に基板厚みを2mm以上にすると、LEDのサイズが大きくなり過ぎる。また黄色光の割合が過度に増え白色でなくなる。だから基板厚みは50μm~2mmの程度である。

【0020】先述のようにドーパント種類、濃度、欠陥密度を調整して蛍光発光の中心波長を変えることができる。基板厚みで蛍光の割合を変えることができる。だから、不純物種類、濃度、欠陥密度、基板厚みなどのパラメータを自在に調整することによって、暖色系から寒色系の白色まで任意の白色を得ることができる。

【0021】幾何学的な配置についていくつかの選択肢がある。基板を下に薄膜を上にすると言うような従来のLEDと同じ配置(正立)も可能である。反対に薄膜を下に基板を上にする倒立(エピサイドダウン)の配置も可能である。また青色だけが外部に放出されるのを防ぐような構造をとることも可能である。

【0022】LEDの電極は、エピタキシャル側と、基板裏面側にそれぞれ電極形成する(n型基板の場合は裏面にn電極、エピタキシャル側にp電極; p型基板の場合は裏面p電極、エピタキシャル側にn電極)。システムに取り付ける面の電極は、全面を覆う電極であっても良いが、光の放射側は開口部の広い電極としなければならない。

【0023】エピサイドダウンで実装する場合、次のような構造とすることが望ましい。エピタキシャル側の電極は発光層からの青色、青緑色をチップ外に出さないためになるべく大きくする必要がある。エピタキシャル側の電極はチップ全面、或いはチップ全面の80%以上を覆うような電極とするのが良い。それに反して、基板側

が光の放出側になるから、電極面積を狭くする必要がある。リング状、ドット状何れでも良いが、標準的なチップサイズ0.25mm×0.25mmのチップなら、面積比で40%以下とする。より望ましくは16%以下とするのがよい。

【0024】n型GaN基板を使うときは、エピサイドダウンとすると、低比抵抗にするのが困難なp型エピタキシャル層には広い面積のp電極を形成でき接触抵抗を減らすことができる。n型GaNは低抵抗にしやすいため、リング状の狭い電極であってもよい。このように電気的にも好ましい構造となるのである。上記のGaN基板は、単結晶であるため、YAG蛍光体よりも透明度が高い。青色、青緑色光を黄色光に変換する効率もYAG蛍光体より15%も高い。透明度、変換効率ともに高いので、本発明のGAINN/GaNLEDは従来例にかかるGAINN/YAGよりも高輝度の白色LEDとなる。またGaN基板の厚みを変化させるだけで簡単に、暖色系から寒色系の白色光を得ることができる。透明度が高いから厚みを増しても輝度が減少しない。

【0025】また蛍光材を埋め込む必要がない。簡単な工程によって、高輝度白色LEDを作製することができる。GaN基板は導電性とする事ができる。従来のサファイア基板（絶縁体）上の素子に比べワイヤボンディングが一つ少ないから作製工程が簡略化される。低成本の白色LEDを作る事ができる。

【0026】

【発明の実施の形態】（1）正立のGaN白色LED
図3に本発明にかかる白色LEDの構造の一例を示す。図3（a）は縦断面図、（b）はチップだけの断面図を示す。透明モールド11の内部に、リード12、13とLEDチップ15が埋め込まれている。そのような構造は従来のLEDに合わせてある。透明モールドは最も安価なLEDのパッケージである。もちろん金属缶タイプのパッケージに収容することもできる。パッケージやリードは目的によって自在に選択できる。Γ型リード12の頂部14には窪みがなく、平坦面になっている。平坦面14の上に、GAINNLED15が正立固定される。このLED15は蛍光発光中心となる不純物（酸素、炭素）、結晶欠陥（窒素空孔）を有するGaN基板16とその上にエピタキシャル成長した発光構造（薄膜）17よりなる。

【0027】発光構造17はGAINNの薄膜でありpn接合を含む。エピタキシャル発光構造17はGaNを主体とする薄膜の積層体でありpn接合をもつ頂部にはリング状あるいは小面積のp電極がある。光を妨げないようにこれは全面積の40%以下とする。p電極がワイヤ18によってリード13に接続される。基板側のn電極が直接にリード12に接続される。ワイヤは1本で済む。リード12がカソードに、リード13がアノードになる。pn接合に電流を流すことによってバンドギャップ

遷移がおこり400nm～500nmの光Eを出す。一部は下側に進み基板に入る。ここでGaN基板には酸素、炭素、あるいは窒素空孔などがあり青色を吸収して520～650nmの蛍光を発する。基板中の蛍光発光Fが底面に反射し或いは直接に薄膜17を越えて外部に出て行く。LED光Eと、蛍光光Fの混合した光が外部に出て行きこれが白色光Wに見える（W=E+F）。これはリード面14に基板16をボンドする正立構造である。通常のLEDは皆そうである。しかしこれではLED光Eが必ず50%を越える割合になり蛍光発光が弱くなる。

【0028】（2）倒立のGaN白色LED

図4に本発明にかかる倒立の白色LEDの構造の一例を示す。図4（a）は縦断面図、図4（b）はチップだけの断面図を示す。透明モールド21の内部に、リード22、23とLEDチップ25が埋め込まれている。そのような構造は従来のLEDに合わせてある。Γ型リード22の頂部24には窪みがない。平坦面である。リード頂部24の上にGAINNLED25が固定される。LED25は蛍光発光中心となる不純物、欠陥を有するGaN基板26とその上にエピタキシャル成長した発光構造（GAINN系薄膜）27よりなる。エピタキシャル発光構造（薄膜）27はGAINNの薄膜でありpn接合を含む。このLEDは反対向けにしてリード面24に固定する。n型GaN基板を使う場合、薄膜面にはp電極があり、これが直接にリード面24（ステム）に接合される。ステムに付ける電極は、チップ面積の80%～100%であって良い。GaN基板側にはリング状あるいは小面積のn電極がある。これはチップ面積の40%以下の面積とする。n電極がワイヤ28によってリード23に接続される。やはりワイヤは1本で済む。この場合リード23がカソード、リード22がアノードになる。もちろんp型基板を使う場合は、カソードとアノードが逆になる。

【0029】リード22から23に電流を流すことによってバンドギャップ遷移がおこりエピタキシャル薄膜27が400nm～500nmの光Eを出す。全部が上方に進み基板に入る。透過光は外部に青色の光として出て行く。一部の光は吸収されてGaN基板中の蛍光中心による蛍光発光を促す。基板中の蛍光発光Fも上方に向かう。LED発光Eも蛍光発光Fも共に上方へ向かう。二つの異種の光が混合して白色になる。この構造であると基板の厚みに比例して蛍光が増加する。蛍光を50%以上にすることも容易である。白色光の色調を制御しやすい。ただし通常のLEDとアノード、カソードピンが反対になるので注意が必要である。

【0030】（3）倒立遮蔽型のGaN白色LED

図4のものは薄膜27から基板面にほぼ平行に出た青色光、青緑色光は、基板を通らないから蛍光光と混合できず、青色だけになってしまふ。側方からみると色ムラを

生ずる。これを避けるためにはリード形状を工夫すれば良い。図5に本発明にかかる倒立遮蔽型白色LEDの構造の一例を示す。図5(a)は縦断面図、図5(b)はチップだけの断面図を示す。透明モールド31の内部に、リード32、33とLEDチップ35が埋め込まれている。そのような構造は従来のLEDに合わせてある。Γ型リード32の頂部34には深い窪み39が形成されている。リード頂部34の深い窪み39の底にGaN LED35が発光構造を下にして倒立固定される。LED35からみた上方開口部の面積は狭く光が側方には出ないようになっている。

【0031】LED35は蛍光発光中心となるドーパントを有するGaN基板36とその上にエピタキシャル成長した発光構造(GaN系薄膜)37よりなる。エピタキシャル発光構造(薄膜)37はGaNの薄膜でありpn接合を含む。このLEDは反対向きにして窪み39の底34に固定する。薄膜37の上面には、全面の80%~100%の面積の電極があり、これが直接にリード32の窪み底面に接合される。n型基板を使う場合薄膜電極はp電極である。GaN基板側にはリング状あるいは小面積の電極がある。全面積の40%以下とする。n型基板の場合これはn電極である。n電極がワイヤ38によってリード33に接続される。やはりワイヤは1本で済む。この場合もリード33がカソード、リード32がアノードになる。窪み39の上面にはリング状の反射板40が接合される。p型基板の場合、基板側の電極はp電極、発光機構(薄膜)側の電極はn電極になる。

【0032】電流を流すことによってエピタキシャル薄膜37が400nm~500nmの光Eを出す。全部が上方に進み基板に入る。透過光は外部に青色の光として出て行く。一部の光は吸収されてGaN基板の蛍光中心による蛍光発光を引き起こす。基板中での蛍光発光F(520nm~650nm)も上方に向かう。LED発光Eも蛍光発光Fも共に上方へ向かう。両者合い相まって白色を呈する。面に対して斜めに出た光は全て窪み壁面に遮られる。面に垂直に出た光のみが上方に向かい窪みから外部にでて行く事ができる。これは指向性のあるLEDになる。

【0033】(4) 倒立基板遮蔽型のGaN白色LED図5のものは側方へ出射される光がないので、必ず白色光になる。それはいいのであるが、指向性が強すぎるという欠点がある。指向性の少ないLEDが要求されることもある。それに図5のものはリードの形状が複雑でLEDチップに実装が難しいという難点もある。指向性が少なくしかも青色、青緑色の漏れがないようなLEDを図6によって説明する。これはGaN基板自体に凹形状を与えて発光構造部を基板に埋め込んだものである。

【0034】図6(a)は縦断面図、図6(b)はチップだけの断面図を示す。透明モールド41の内部に、リ

ード42、43とLEDチップ45が埋め込まれている。Γ型リード42の頂部44には特異な形状のLEDチップ45が反対向きに接着される。LED45の中央は深い窪み49になっており、ここにGaN系エピタキシャル発光構造47が形成される。つまりエピタキシャル薄膜47がGaN基板46によって囲まれる形状になっている。エピタキシャル薄膜47から出る光は全て基板46を通過する。

【0035】基板の周辺部には絶縁層50とGaN層51がある。GaN層51によってLED45がリード面44に接着される。しかし絶縁層50のために、リード面44から素子へは電流は流れない。リード面44の中央部には隆起52がある。隆起52がエピタキシャル発光層のp電極に接触固定される。p電極とリード42はこれによって電気的に接続される。GaN基板46の底面側が上になっている。底面にはリング状或いは小面積の電極がある。n型基板ならばn電極である。n電極はワイヤ48によってリード43に接続される。リード42がアノード、リード43がカソードとなる。

【0036】電流を流すことによってエピタキシャル薄膜47が400nm~500nmの光Eを出す。上方に進むものも側方に進む光も全て周辺の基板46に入る。透過光は外部に青色の光として出て行く。一部の光は基板46に吸収されてGaN基板の不純物、欠陥など蛍光中心による蛍光発光を引き起こす。LED発光Eも蛍光Fも共に上方及び側方へ向かう。両者相まって白色を呈する。基板面に対して垂直方向だけでなく斜めや側方に出了光もすべて白色光となる。指向性がないLEDになる。用途は一段と広い。

【0037】

【実施例】【実施例1 (気相成長GaN基板、GaN活性層、正立)】GaN単結晶は先述のように気相成長(HVPE、MOC、MOCVD法)あるいは融液成長法によって成長させる。そのGaNの自立膜を基板とする。GaN基板は、酸素、炭素のようなドーパントあるいは窒素空孔のような欠陥をあたえておく。酸素、炭素、窒素空孔は蛍光中心となる。GaN基板の厚みは50μm~2000μm程度がよい。GaN基板の上にGaNの結晶薄膜をエピタキシャル成長させる。例えばMOCVD法によってエピタキシャル成長することができる。

【0038】図7にGaNエピタキシャルウエハー60の構造を示す。n型GaN基板62の上にn型GaNバッファ層63、n型AlGaNクラッド層64、GaN活性層65、p型AlGaNクラッド層66、p型GaNコンタクト層67が設けられる。エピタキシャル層ではp型ドーパントとしてMgをn型ドーパントとしてSiを採用した。より具体的な組成を示す。

【0039】(1) n型GaN基板 62
(2) n型GaNバッファ層 63

(3) n型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層 64
 (4) ZnドープGa_{0.8}In_{0.2}N活性層 65
 (5) p型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層 66
 (6) p型GaNコンタクト層 67

【0040】コンタクト層はp電極とオーミック接触し抵抗が小さいことが必要でp型濃度が高い。AlGaNクラッド層はバンドギャップが広くて活性層にキャリヤを閉じ込める作用がある。GaNN活性層は、薄いInN膜、GaN膜を何層にも交互に積層したものである。

【0041】このエピタキシャルウエハーのp型コンタクト層の上にPd/Auからなるp電極を形成した。裏面のn型GaNには、Inのn電極を形成した。n電極にはIn/TiAuを用いることもできる。パターン電極の形成にはフォトリソグラフィを用いる。電極形成後のエピタキシャルウエハーを300μm×300μm角のサイズに切り出し、図3のようにリード12のシステム14に固定した。n電極を下に、p電極を上にした。つまりGaN基板16がシステム14に接触する。p電極をワイヤによって他のリード13に取り付けた。これらを透明樹脂によってモールドした。

【0042】このLEDを定電流モードで測定した。高輝度の白色光が放射された。20mAの駆動電流に対して典型的な輝度は1.5Cdであった。図8にこのLEDの発光スペクトルを示す。設計通り430nmに鋭いピークをもつエピタキシャル発光層からのLED発光と、550nmに鈍いピークをもつプロードなGaN基板からの蛍光発光が組合わさっている。合成された光は白色である。黄色が少し強めの暖色の白であった。

【0043】【実施例2。融液成長法のGaN基板、倒立、基板厚み3種】融液成長法を用いて作製した厚みの異なる3種類のGaN基板を準備した。厚みは100μm、500μm、1mmである。このGaN基板の上に実施例1と同様のホモエピタキシャル構造をMOCVD法によって作製した。図7の構造を持ち、p型ドーパントはMg、n型ドーパントはSiである。

(1) n型GaN基板 62
 (2) n型GaNバッファ層 63
 (3) n型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層 64
 (4) ZnドープGa_{0.8}In_{0.2}N活性層 65
 (5) p型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層 66
 (6) p型GaNコンタクト層 67

【0045】p型GaNコンタクト層の上にp電極Pd/Auを設けた。p電極はエピタキシャル面の全体に形成している。n型GaN基板の底面に、100μm×100μmのInのn電極を設けた。p電極のチップ被覆率は100%、n電極のチップ被覆率は11%である。これを300μm×300μmの正方形チップに切り出して図4のように裏面を上に向けてシステムに取り付けた。エピタキシャル表面を下にするからエピサイドダウン

ンともいう。p電極はシステムに直付けされる。n電極だけをワイヤによってシステムに接続する。これを透明樹脂でモールドした。

【0046】このLEDを定電流モードで発光させたところ、高輝度の白色光を得る事ができた。実施例1のLEDは、白色の色調ムラが見られたが、この受光素子は素子面垂直方向にはそのようなムラがない。エピサイドダウンであって、垂直方向に出る光は、蛍光とLED発光が混合しているからである。典型的な輝度は、電流2

10 0mAで、1.5~2Cdであった。基板厚み(100μm、500μm、1mm)によって白の感じが違う。

(C) 100μm厚みのLED…青みがかった寒色の色調の白

(D) 500μm厚みのLED…中性の白

(E) 1000μm厚みのLED…かなり黄色の強い暖調の白

であった。それぞれの白色発光の色度C、D、Eを色度座標で示すと図9のようになる。

【0047】色度図は、一般の可視の光源色もしくは物体色について、三原色である赤、緑、青に対する刺激値(人間の3種類の視覚器官が感じる刺激量)を数値化することにより、平面座標上で表示するために工夫された図である。ある光源の発光スペクトルのうち、赤に対応する刺激量をx、緑に対応する刺激量をy、青に対応する刺激量をzとしたとき、これらを総刺激量で規格化した、 $X = x / (x + y + z)$ 、 $Y = y / (x + y + z)$ により張られる平面座標が図9に示した色度図である。この座標系ではいかなるスペクトルを有する色も座標上の1点としてあらわされる。このうち400nmから675nmまでの範囲の単色光は、図中の△型の曲線を描く。その他の色は、いずれもこれらの単色光の複合光であり、図中の△型曲線で囲まれる内部の点で表現できる。白色光は中心近くの破線で囲んだ部分である。二つの色P、Qをこの二次元座標に取ったとする。これらの任意の比率の混合色は、二点PQを結ぶ線分の上の点として表される。

【0048】図9においてA点は460nmにピークを持つLED発光構造のみからの発光を示す。色純度が良いので色度図曲線のコーナーに位置する。B点は580

40 nmを中心とする蛍光発光の色度をしめす。プロードなピークであって様々な光を含むので△曲線の内部にある。点Aの光と点Bの光を合成した光は直線ABの上にある。GaN基板が薄い場合蛍光が弱くなりA側による。基板が厚い場合蛍光が強くなつてB側による。

【0049】C点…GaN基板厚みが100μmである。A点に最も近い。

D点…GaN基板厚みが500μmである。中間である。

E点…GaN基板厚みが1000μm(1mm)である。B点に最も近い。

これらの白色を色調温度で表現することもできる。C点…少し青色が強い寒色の白で色調温度は8000K程度。

D点…中性の白で色調温度は5000K程度。

E点…黄色の強い暖色の白で色調温度は3000K程度。

このように基板の厚みを変える事によって色調の異なる白を得る事ができる。これは基板の不純物濃度は一定の場合である。

【0050】基板の不純物濃度を変えると基板の吸収係数が変化し、基板厚みとLEDの色調の関係は上記の関係から変化していくことが判明した。活性層の $Ga_{1-x}In_xN$ の組成xを変えることによって発光波長を40nm~500nmの間で変化させる事ができる。LED発光波長をこの範囲で変化させても、基板厚みを最適化することによって白色光が得られるということも分かった。

【0051】【実施例3. 倒立、反射板】実施例2は倒立にLEDを取り付けている。それで上方から見る限り一様なムラのない白色である。しかしチップ側方からみると青色だけが放射される角度がある。そこでシステムに窓みを設け窓みにチップを実装した。図5に示すものである。窓み39の底面側面を鏡面仕上げした。窓み39にチップを反転して取り付けた。こうすると側方に出了る光はすべて窓み39の壁面で遮られ外部にでない。反射板40によってさらに開口部が狭くなっている。上方にのみ光ができるようになる。

【0052】エピタキシャル薄膜から出た光が上方に出るには必ずGaN基板36を通らなければならない。必ず青色光は黄色蛍光光と混合する。こうして一様な白色光を放射するLEDを得る事ができた。システムの実装面34を鏡面仕上げとし、反射板としてアルミ薄片を用いる。青色光が反射してGaN基板に入るので反射によって黄色橙色強度が強くなる。反射板と凹部構造のため指向性が高くなつた。反射のため輝度は1.8~2.5Cdにまで増強された。

【0053】【実施例4. 倒立、選択成長】実施例3はシステムに凹部を形成し凹部へ倒立にLEDを取り付けている。光は上方へのみ出でてくる。指向性が強く輝度も高い。しかしながらそのような深い凹部をシステムに形成するのは難しい。システムコストを押し上げる。むしろチップの方に異方性を設けた方がよい場合もある。チップはウエハープロセスによって簡単に形状異方性を与えることができるからである。

【0054】それで図6のような形状のチップ・システムを作製した。作製の方法を図10(a)~(d)によって説明する。GaNウエハー78に格子状のSiNマスクパターン80を形成した。図10(a)はマスク80を載せた状態のウエハーの一部の断面図を示す。図10(d)は同じものの平面図を示す。正方形の白地の部分

がGaNの露呈した部分79である。正方形の部分が後に発光部分になる。マスク以外の部分(開口部)を約3μmの深さにエッチングした。図10(b)のように凹部83が形成される。マスク80の直下の部分がアンダーカットされ逆メサ81の形に残る。露出した部分は平面82になる。

【0055】このように凹部83をもつウエハーに、実施例1~3と同様にMOCVD法によって発光構造を成長させた。選択成長が起こり凹部82にのみに発光構造

10が形成され、マスク80の上には単結晶エピタキシャル膜が形成されない。またマスク直下のアンダーカット形状のため発光構造は完全に分離される。つまりマスクの上下でGaN膜がつながらない。図10(c)にこの状態を示す。凹部83内部のエピタキシャル発光構造84に電極などを設け、マスク部分を切断線とし、300μm×300μmのチップに切断した。中央に凹部をもつLEDチップが製作される。リード42のシステム44自身も凸部52をもつ異形のものになる。

【0056】チップを反転させ、p型層の方をシステム隆起52に接触するように固定した。図6(a)、(b)のようになる。n電極はワイヤ48で他のリード43に接続した。これはエピタキシャル発光構造47がGaN基板中に埋め込まれているから、青色、青緑色の漏れ光は皆無となる。全視野角度に対して均一に白い光を発するLEDとなる。これはチップの形状を工夫することによって均一光を出すようにしたものである。チップにエピタキシャル層を埋め込んだこの実施例は指向性が少なく、全視野型である。広い角度に発光するので表示などに適する。

【0057】【実施例5(倒立、反射板形状のシステム)】図11はシステムに反射機能を持たせた実施例をしめす。実施例2、3と同様にシステムへ倒立に付ける。実施例2はシステムは平底で、実施例3は深い凹部を持っていた。図11に表したものは中間的なものであり実施例3ほど深くない凹部をシステムに設けている。図11

(a)はチップの平面図である。(b)は正面図、(c)は底面図である。(d)は素子の正面図である。このLEDはリング電極ではなく円板状の小さいn電極87をn型GaN基板62の裏面に設けている。p型コンタクト層67の下には全面にp電極88を付けている。リード89の頂部は拡張する額縁状になっておりここに、チップのエピタキシャル成長層側(p電極側)を固定する。n電極87は、もう一つのリード90とワイヤ92によって接続する。システム、チップ、ワイヤなどの全体は透明樹脂93によってモールドされる。

【0058】

【発明の効果】本発明は、蛍光中心を有するGaN基板の上にGaN系薄膜をエピタキシャル成長させる。GaN薄膜はLEDとして青色発光させ、青色が基板を通過するときに黄色や黄緑色の蛍光発光させ、両者

相まって白色を出すようにしている。単色のLEDと作るのとほぼ変わらない工程で製造できる。基板がサファイアでないから劈開がありチップに切り出すのが容易である。基板がサファイアの場合はワイヤボンディングが2回必要であるが、本発明は導電性のGaN基板を使うのでワイヤボンディングは1回でよい。LEDの作製容易である。導電性単結晶GaN基板は従来のYAG蛍光材よりも透明度が高く吸収が少ない。さらに青色青緑色光を黄色光に変換する変換効率も高い(15%以上)。透明度、変換効率共に高いから、GaN/N/GaN LEDは、従来のGaN/YAG LEDよりも高輝度の白色LEDとなる。

【0059】GaN/N LEDが主体であるから長寿命である。GaN基板のドーパント種類、濃度、結晶欠陥量などによって暖色系から寒色系まで様々な白色を発生させることができる。さらに基板厚みを変えるだけでも暖色系から寒色系まで色調を変えることができる。別異の蛍光体を余分に必要としない。GaN基板自体を蛍光発光体として有効利用している。半導体素子は基板が必要であるが、これを黄色の発光体として使っているので構造は簡単で製造も容易である。

【図面の簡単な説明】

【図1】GaN系LEDとYAG蛍光体を組み合わせた従来例にかかる白色LEDの例を示す図。(a)はパッケージを含む全体縦断面図。(b)はLEDチップ近傍の拡大断面図。

【図2】GaN系LEDとYAG蛍光体よりなるGaN/N/YAG白色LEDの発光スペクトル図。横軸は波長、縦軸は光強度(任意目盛り)。

【図3】GaN基板とGaN/N系薄膜発光構造を組み合わせたLEDをシステムに正立固定する本発明の実施例1にかかる白色LEDの例を示す図。(a)はパッケージを含む全体縦断面図。(b)はLEDチップ近傍の拡大断面図。

【図4】GaN基板とGaN/N系薄膜発光構造を組み合わせたLEDをシステムに倒立固定する本発明の実施例2にかかる白色LEDの例を示す図。(a)はパッケージを含む全体縦断面図。(b)はLEDチップ近傍の拡大断面図。

【図5】凹部を有するシステムの谷間にLEDを倒立固定した本発明の実施例3にかかる白色LEDの例を示す図。(a)はパッケージを含む全体縦断面図。(b)はLEDチップ近傍の拡大断面図。

【図6】GaN基板にGaN系薄膜発光構造を埋め込んだ構造のLEDを、凸部を有するシステムに倒立固定する本発明の実施例4にかかる白色LEDの例を示す図。

(a)はパッケージを含む全体縦断面図。(b)はLEDチップ近傍の拡大断面図。

【図7】GaNを活性層として持つ実施例1のLEDのエピタキシャルウエハーの層構造を示す図。

【図8】GaNを活性層として持つ本発明で用いるLEDの発光スペクトル図。

【図9】横軸をX、縦軸をYとする色度を示す色度座標系において、実施例2の3種類の厚みの異なるLEDの発光点をC、D、Eとして示す図。AはGaN/N LEDの発光、Bは蛍光を示す。Xは三原色のうち、赤の成分の比を、Yは三原色の内、緑成分の比を示す。

【図10】チップ中央部に凹部を持ち、凹部にエピタキシャル発光構造を作り、発光構造が基板によって包囲されるような実施例4のLEDチップを作製するためのウエハープロセスを説明するための図。

【図11】倒立実装の実施例5におけるLEDチップとLED素子を示す図。(a)はチップ平面図、(b)は正面図、(c)は底面図、(d)はリードにチップを取付け、透明樹脂によってモールドした発光素子の図。

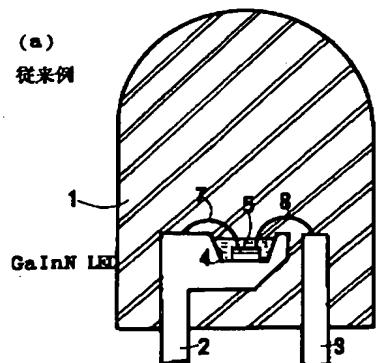
【符号の説明】

- 1 透明モールド
- 2 第1リード
- 3 第2リード
- 4 窒み
- 5 GaN/N LED
- 6 YAG蛍光体
- 7 ワイヤ
- 8 ワイヤ
- 11 透明モールド
- 12 リード
- 13 リード
- 14 頂面
- 15 GaN/N LED
- 16 GaN基板
- 17 エピタキシャル発光構造(薄膜)
- 18 ワイヤ
- 21 透明モールド
- 22 リード
- 23 リード
- 24 リード頂面
- 25 GaN/N LED
- 26 GaN基板
- 27 エピタキシャル発光構造(薄膜)
- 28 ワイヤ
- 31 透明モールド
- 32 リード
- 33 リード
- 34 リード頂面
- 35 GaN/N LED
- 36 GaN基板
- 37 エピタキシャル発光構造(薄膜)
- 38 ワイヤ
- 39 窒み
- 40 反射板

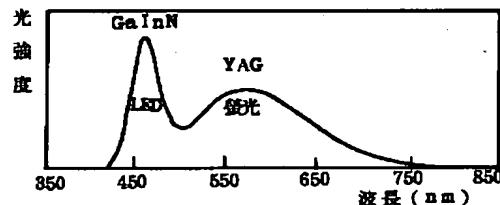
4 1 透明モールド
 4 2 リード
 4 3 リード
 4 4 リード頂面
 4 5 GaInN LED
 4 6 GaN基板
 4 7 エピタキシャル発光構造(薄膜)
 4 8 ワイヤ
 4 9 崩み
 5 0 絶縁層
 5 1 GaN層
 5 2 リードの隆起
 6 0 GaInN LEDチップ
 6 2 n型GaN基板
 6 3 n型GaNバッファ層
 6 4 n型AlGaNクラッド層

6 5 GaInN活性層
 6 6 p型AlGaNクラッド層
 6 7 p型GaNコンタクト層
 7 8 GaN基板
 7 9 基板表面
 8 0 マスク
 8 1 凸部
 8 2 底面
 8 3 崩み
 10 8 4 エピタキシャル発光構造
 8 5 非エピタキシャル層
 8 7 n電極
 8 8 p電極
 8 9 リード
 9 0 リード

【図1】

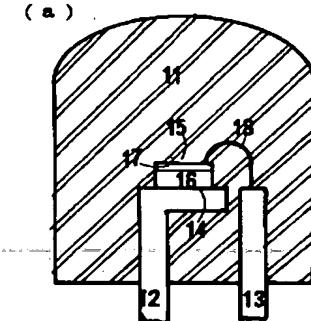


【図2】



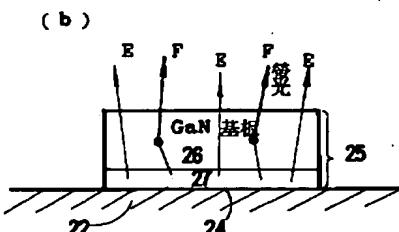
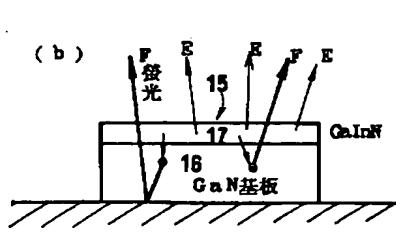
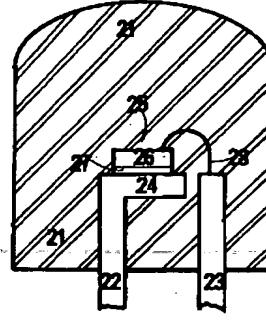
【図3】

実施例 1

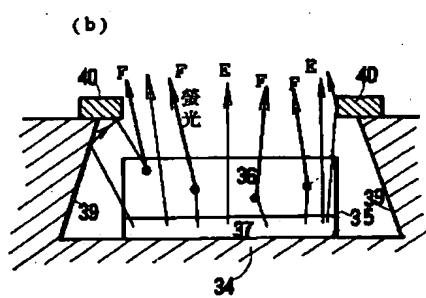
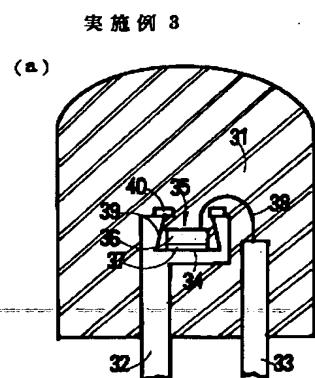


【図4】

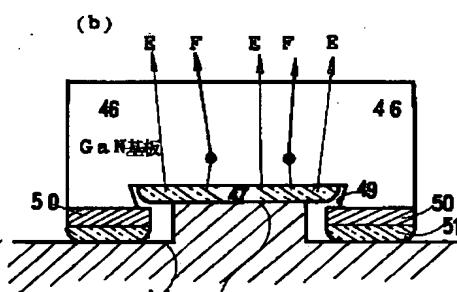
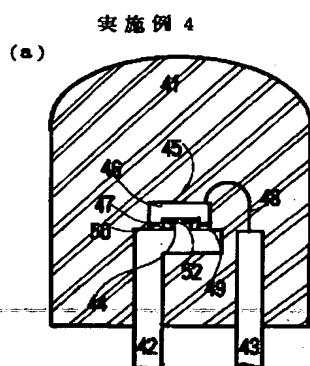
(a) 実施例 2



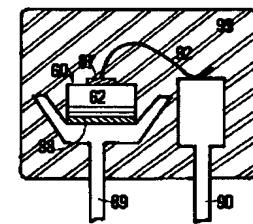
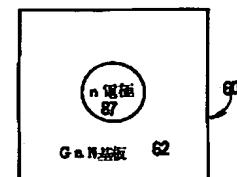
【図 5】



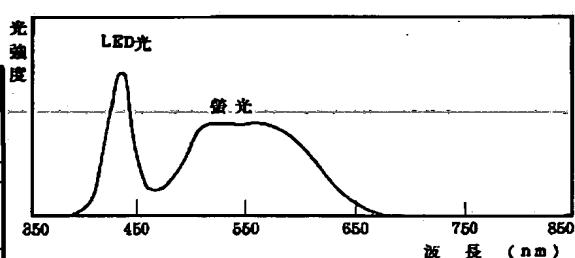
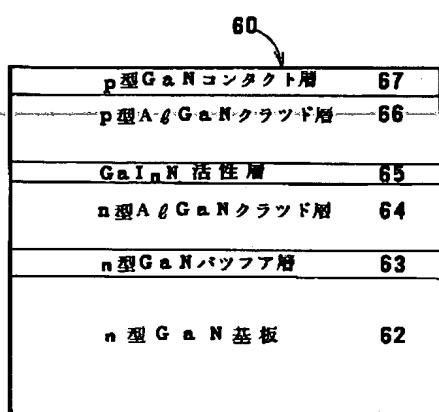
【図 6】



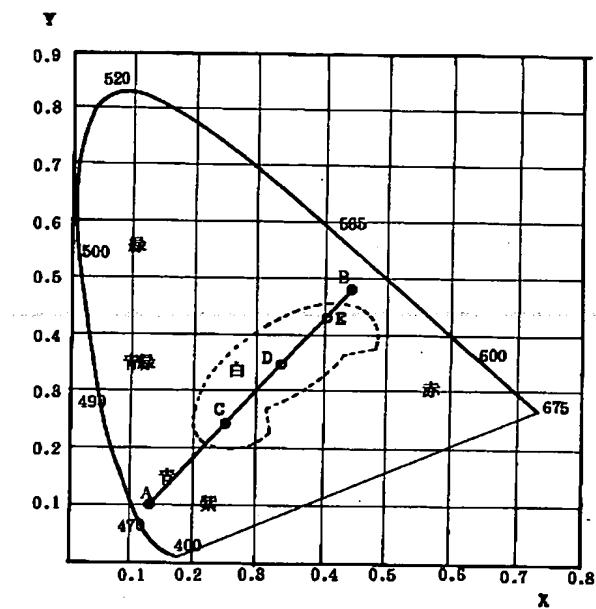
【図 11】



【図 7】



【図 9】



【図 10】

